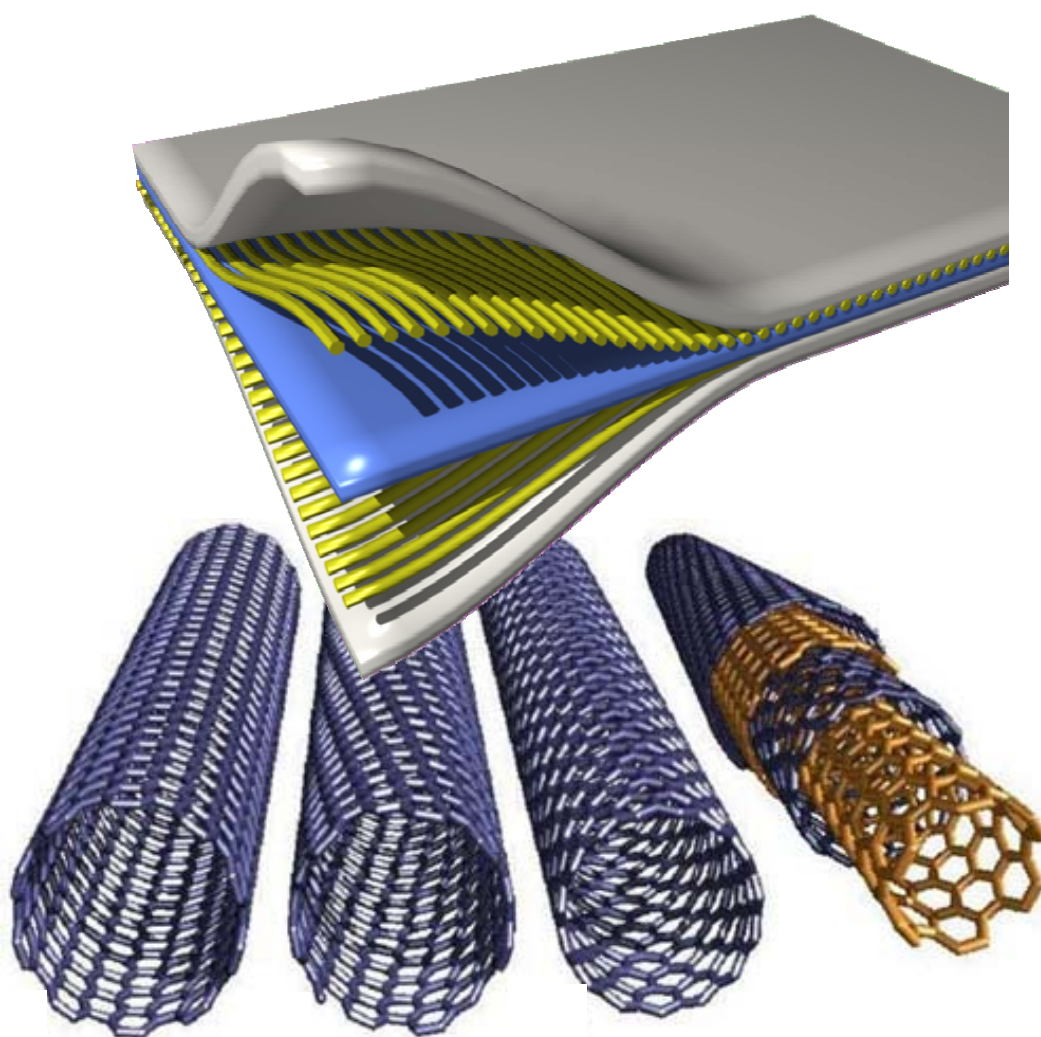


Ю. А. Буренніков, І. О. Сивак, С. І. Сухоруков

НОВІ МАТЕРІАЛИ ТА КОМПОЗИТИ



Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

Ю. А. Буренніков І. О. Сивак, С. І. Сухоруков

НОВІ МАТЕРІАЛИ ТА КОМПОЗИТИ

Навчальний посібник

Вінниця
ВНТУ
2013

УДК [620.22+621.763] (075)

ББК 30.3 я73

Б91

Автори

Ю. А. Буренніков, І. О. Сивак, С. І. Сухоруков

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
Лист № 1/11-20254 від 28.12.12

Рецензенти:

В.В. Рудь, доктор технічних наук

І. В. Кузьо, доктор технічних наук

М. І. Пилипець, доктор технічних наук

Буренніков, Ю. А.

Б91 Нові матеріали та композити : навчальний посібник /
Ю. А. Буренніков, І. О. Сивак, С. І. Сухоруков – Вінниця : ВНТУ,
2013. – 161 с.

ISBN

В навчальному посібнику головна увага приділена армованим композиційним матеріалам – композиціям, в яких матриця зміцнена елементами ниткоподібної форми. Приведені методи отримання таких композиційних матеріалів та їх властивості. Розглянуті особливості процесів різання композиційних матеріалів.

Один із розділів присвячений результатам досліджень в області наноматеріалів та нанотехнологій. В посібнику приведено інформацію про найбільш відомі на даний час наноматеріали.

Навчальний посібник призначений для студентів старших курсів машинобудівних спеціальностей.

УДК [620.22+621.763] (075)620.1.002.3

ББК 30.3 я73

ISBN

© Ю. Буренніков, І. Сивак, С. Сухоруков, 2013

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

Ю. А. Буренніков, І. О. Сивак, С. І. Сухоруков

Нові матеріали та композити НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Усі цитати, цифровий, фактичний матеріал та бібліографічні відомості перевірені. Написання одиниць відповідає стандартам.

Зауваження рецензентів враховані.

Автори: _____ Ю.А. Буренніков
(підпис)
_____ І.О. Сивак
(підпис)
_____ С.І.Сухоруков
(підпис)

Вимогам, які висуваються до навчальної літератури, відповідає.

До друку і в світ дозволяю на підставі § 2 п. 15 «Єдиних правил...»

Проректор з науково-педагогічної роботи по організації навчального процесу та його науково-методичного забезпечення
О.Н. Романюк

Затверджено
на засіданні кафедри ТАМ
Протокол № __ від _____ р.
Зав. кафедрою ТАМ
_____ І.О. Сивак
(підпис)

Вінниця ВНТУ 2013

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗМІЦНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ВОЛОКНАМИ	6
1.1 Класифікація армованих КМ.....	6
1.2 Вимоги, що висуваються до волокон і матриці.....	10
1.3 Закон Гука для анізотропних тіл.....	12
1.4 Модулі пружності однонаправлених армованих КМ	20
1.5 Міцність однонаправлених КМ з неперервними волокнами у напрямі армування	24
1.6 Міцність при розтягуванні КМ, армованих дискретними волокнами.....	31
2 АРМУВАЛЬНІ ВОЛОКНА	37
2.1 Ниткоподібні кристали.....	37
2.2 Металеві дроти.....	45
2.3 Керамічні волокна.....	54
2.4 Вуглецеві, борні і карбідокремнієві волокна.....	60
2.5 Армувальні елементи	66
3 КОНСТРУКЦІЙНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ	69
3.1 Металеві композиційні матеріали.....	69
3.1.1 Матричні матеріали.....	69
3.1.2 Способи виготовлення МКМ.....	73
3.2 Полімерні композиційні матеріали.....	82
3.2.1 Наповнювачі для полімерних композиційних матеріалів.....	82
3.2.2 Неперервні волокна і тканини	86
3.2.3 Наноккомпозити	91
4 МЕХАНІЧНА ОБРОБКА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	99
4.1 Особливості процесів різання композиційних матеріалів.....	99
4.2 Вплив механічної обробки на властивості композитів.....	103
4.2.1 Якість поверхні при обробці композитів	103
4.2.2 Точіння виробів з композитів	106
4.2.3 Свердління виробів із композитів	109
4.2.4 Фрезерування виробів із композитів.....	111
4.2.5 Алмазно-абразивна обробка виробів із композитів.....	113
4.2.6 Розрізання виробів із композитів.....	114
4.2.7 Нарізання різі абразивними і алмазними кругами.....	116
4.3 Основні вимоги охорони праці та промислової безпеки при обробці композитів.....	117
5 НОВІ МАТЕРІАЛИ.....	120
5.1 Графен.....	120
5.1.1 Властивості графену	122
5.1.2 Використання графену.....	123

5.1.3 Вуглецеві нанотрубки.....	125
5.1.4 Сенсори типу "штучна шкіра" – датчики тиску і деформації, створені на основі прозорих гнучких плівок з вуглецевих нанотрубок.....	133
5.2 Надлегкі пористі матеріали	143
5.3 Формування в металах ультрадрібнозернистих (УДЗ) структур.....	146
ЛІТЕРАТУРА.....	155

ВСТУП

Композиційні матеріали (КМ) – це матеріали, які складаються із двох або більше компонентів (дискретних елементів і матриці, що їх зв'язує), мають специфічні властивості, відмінні від суми властивостей елементів, що їх складають. Дискретні елементи можуть виконувати пасивну роль – служити наповнювачем, або активну – використовуватись як армувальні (зміцнювальні елементи). Інертні наповнювачі найчастіше використовуються для зменшення вартості композита або для заповнення об'єму. Активні наповнювачі використовуються для модифікації механічних або експлуатаційних властивостей (міцність, електропровідність, теплопровідність та ін.).

Композиційні матеріали мають цілий ряд специфічних властивостей, які мало характерні для традиційних конструкційних матеріалів, наприклад, для КМ характерна значна анізотропія механічних і фізичних характеристик, умови руйнування КМ значно відрізняються від умов руйнування металів. Композиційні матеріали використовують як для заміни традиційних конструкційних матеріалів, так і як спеціально створені матеріали, які мають деякі спеціальні властивості, заради яких вони і створюються, – теплозахисні, електрофізичні, оптичні, антикорозійні, радіопрозорі та ін.

Розвиток техніки, з одного боку, породжує необхідність розробки нових конструкційних матеріалів, а з іншого – в значній мірі залежить від результатів цих розробок. Тому нові матеріали, які з'являються в зв'язку з необхідністю вдосконалення існуючих конструкцій, відкривають можливості для реалізації нових конструктивних рішень і розробки нових технологічних процесів.

Відомі конструкційні матеріали вже не можуть задовольнити зростаючі до них експлуатаційні вимоги. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є створення матеріалів з комплексом необхідних характеристик, які можна забезпечити лише розробкою відповідних композицій, в яких об'єднані кращі якості окремих складових. За рахунок вибору компонентів, їх концентрації, розмірів, форми, орієнтації та міцності з'єднання один з одним, фізико-механічні властивості композиційних матеріалів можна регулювати в дуже широких межах. Використання композиційних матеріалів дозволяє значно підвищити міцність і одночасно зменшити масу літаків, ракет, автомобілів, суден; збільшити потужність двигунів, створити нові конструкції, працездатність яких раніше обмежувалась відсутністю необхідних матеріалів.

В даному навчальному посібнику головна увага приділена армованим композиційним матеріалам – композиціям, в яких матриця зміцнена елементами ниткоподібної форми. Саме в таких матеріалах можливе широке варіювання властивостей, зміцнення композиційних матеріалів в

найбільш навантажених напрямках, пристосування їх до вимог конструкції. Використання таких композиційних матеріалів нерозривно пов'язано з питаннями проектування. Як правило, в різних напрямках елементи конструкції мають різні навантаження: в одних – великі, в інших – малі. Використання армованих композиційних матеріалів в таких випадках дуже ефективно, оскільки сам матеріал можна отримати з відповідними властивостями, створеними у відповідних напрямках.

Останнім часом все більше уваги приділяють дослідженням в області наноматеріалів та нанотехнологій, де працюють з об'єктами, розмір яких хоча б в одному вимірюванні співрозмірний із кореляційним радіусом того чи іншого фізичного явища (наприклад, довжини вільного пробігу електронів, фононів, довжини когерентності в надпровіднику, розмір магнітного домену або зародка твердої фази). За рекомендації Міжнародного союзу з чистої та прикладної хімії (IUPAC) за «нанокритерій» приймають величину 100 нм. Використання наноматеріалів має дуже великі перспективи через їх фундаментальну відмінність від звичайних матеріалів. Тому в посібнику наведено інформацію про найбільш відомі на даний час наноматеріали.

Навчальний посібник охоплює більшу частину матеріалу лекційного курсу та основні теми практичних і лабораторних занять.

Вважається, що студенти вже ознайомлені з курсами технології металів, матеріалознавства, математичного аналізу, опору матеріалів і термодинаміки, а також знайомі з елементами теорії ймовірності та тензорного аналізу.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗМІЦНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ВОЛОКНАМИ

Наука про композиційні матеріали (КМ) зовсім молода, проте дослідники теорії зміцнення матеріалів волокнами досягли значних успіхів. Вона дозволяє знайти загальні закономірності зміцнення для композицій з різними матрицями, не дивлячись на те, що технологічні прийоми отримання КМ на металевій, полімерній чи керамічній основах можуть істотно відрізнятися один від одного. Механіка зміцнення КМ базується на положеннях теорії анізотропних середовищ, теорії пружності та опору матеріалів. Матеріалознавців, що займаються синтезом КМ, в першу чергу цікавить питання – як розрахувати властивості композиції за відомими характеристиками і концентраціями компонентів. Для вирішення цієї задачі необхідно використовувати розрахункові моделі. Питання про те, наскільки достовірно та чи інша модель описує поведінку реальних КМ, можна вирішити лише експериментальною перевіркою, оскільки будь-яка модель ідеалізує поведінку реальних об'єктів. Найбільш розроблений і простий з теоретичної точки зору випадок КМ, це КМ армовані волокнами, які орієнтовані в одному напрямі. Розгляду механічних властивостей таких композицій буде приділено основну увагу. Перш ніж приступити до аналізу механічних властивостей КМ, розглянемо основні види анізотропних матеріалів, які використовуються в техніці [1].

1.1 Класифікація армованих КМ

Композиційні армовані матеріали можна класифікувати за такими ознаками: матеріал компонентів, тип арматури та її орієнтації, спосіб отримання композиції і виробів з неї, за призначенням. Залежно від матеріалу матриці всі КМ можна розбити на три групи: композиції з металевою матрицею – металеві композиційні матеріали (МКМ), з полімерною матрицею – полімерні композиційні матеріали (ПКМ) і з керамічною матрицею – керамічні композиційні матеріали (ККМ).

Полімерні КМ в більшості випадків називають за матеріалом армувальних волокон. ПКМ, армовані скляними волокнами, називаються склопластиками, металевими – металопластиками, органічними – органопластиками, борними – боропластиками, вуглецевими – вуглепластиками, азбестовими – азбопластиками і т. п.

Відносно металевих і керамічних КМ поки що немає чітко встановлених правил присвоєння назв. В більшості випадків спочатку називають матеріал матриці, потім матеріал волокна. Наприклад, позначення "мідь-вольфрам" (Cu-W) стосується КМ з мідною матрицею і вольфрамовими волокнами; "оксид (III) алюмінію-молібден" (Al_2O_3 -Mo) – до КМ на основі Al_2O_3 з арматурою з молібденових дротів. Ми будемо користуватися такими позначеннями, але в літературі іноді зустрічається й

інше: спочатку вказують матеріал волокна, а потім - матриці. Залежно від початкового структурного і фазового стану матричного матеріалу розрізняють МКМ з порошковою, литою і листовою матрицею. МКМ, що набирають з поперемінних шарів волокон і тонких листів матричного матеріалу, називають іноді МКМ типу "сендвіч". Для отримання керамічних композиційних матеріалів найчастіше використовують матрицю у вигляді порошку.

За орієнтацією та типом арматури (конструкційний принцип) всі МКМ можна розбити на дві групи: ізотропні і анізотропні.

Ізотропними називають матеріали, що мають однакові властивості в усіх напрямках. Серед МКМ, що розглядаються в цьому посібнику, до числа ізотропних відносять дисперсно-зміцнені і хаотично армовані матеріали. В першому випадку зміцнювальні елементи мають приблизно рівновісну форму, в другому зміцнення здійснюється короткими (дискретними) частинками голчатої форми, хаотично орієнтованими в просторі. Як такі частинки використовують відрізки волокон або ниткоподібні кристали („вуса”); при цьому МКМ виходять квазіізотропними, тобто анізотропними в мікрооб'ємах, але ізотропними в об'ємі всього виробу.

Анізотропними називають матеріали, властивості яких залежать від напрямку. До таких МКМ відносять матеріали, волокна яких орієнтовані в певних напрямках – однонаправлені, шаруваті і тривимірноармовані. Анізотропія МКМ конструкційна – її спеціально закладають в МКМ для виготовлення конструкції, де вона найбільш бажана. На відміну від такої анізотропії існують технологічна анізотропія, що виникає при пластичній деформації ізотропних матеріалів (металів), і фізична анізотропія, властива кристалам у зв'язку з особливостями будови їх кристалічних ґраток.

В техніці найчастіше використовують анізотропні МКМ з певною симетрією властивостей. При вивченні їх фізико-механічних характеристик реальний, як правило, вельми неоднорідний, матеріал уявляють як деяке суцільне однорідне середовище, що ідеалізується, з відповідною симетрією будови та властивостей. Найбільш часто практично важливі орієнтовані МКМ вдається подати як ортотропні або як трансверсально ізотропні середовища.

Ортотропними (ортогонально анізотропними) називають матеріали, що характеризуються наявністю в кожному елементарному об'ємі трьох взаємно перпендикулярних площин симетрії властивостей. З достатнім ступенем точності до таких матеріалів можна віднести МКМ, армовані волокнами з поздовжньо-поперечним укладанням (рис. 1.1), а також шаруваті МКМ, армовані в двох неортогональних напрямках x'_1 і x'_2 , під кутом 2γ (рис. 1.2) з правильним чергуванням шарів.

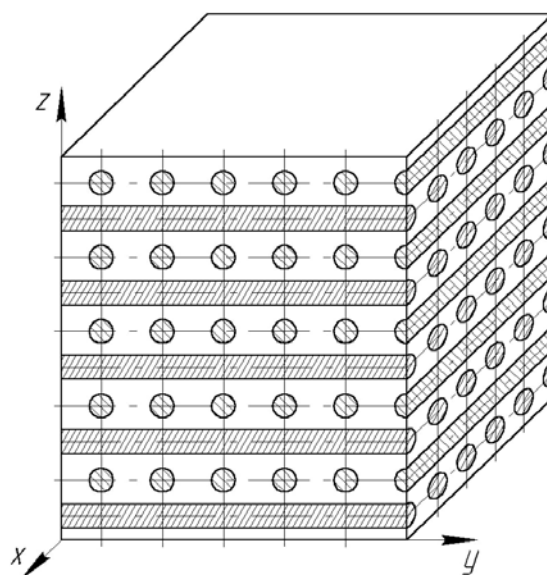


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення структури ортотропного КМ з поздовжньо-поперечним укладанням волокон

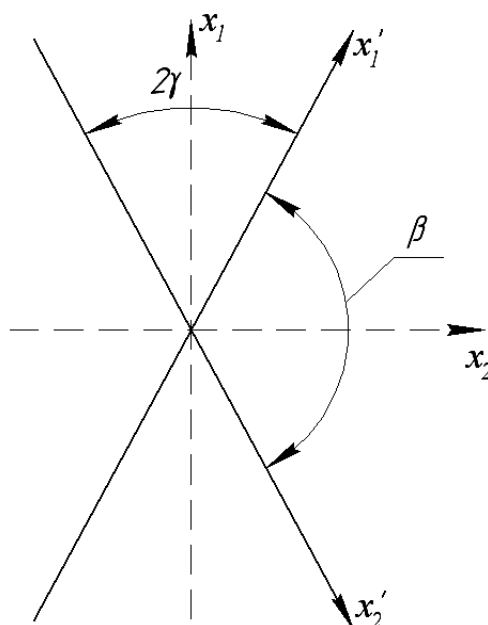


Рисунок 1.2 – Напрями осей армування в ортотропних КМ з неортогональним укладанням волокон

В останньому випадку площинами симетрії будуть серединна площина листа і дві площини, перпендикулярні до неї які проходять через бісектриси x_1 та x_2 кутів 2γ і β .

Доведено (теорією анізотропних середовищ), що шаруваті матеріали із зірковим укладанням волокон в суміжних шарах (рис. 1.3) мають ізотропні властивості в площині листа, якщо кут між напрямками волокон в суміжних шарах менше 72° . Матеріали, що мають площину ізотропії і перпендикулярну до неї вісь симетрії n -го порядку (віссю симетрії n -го порядку називають таку вісь, навколо якої достатньо обернути фігуру на кут $2\pi/n$, щоб отримати повне поєднання всіх точок

фігури з їх первинним положенням), називають *трансверсально ізотропними (транстропними)*. До таких матеріалів звичайно відносять і однонаправлені КМ. В цьому випадку площина ізотропії уз перпендикулярна до напрямку x укладання волокон (рис. 1.4).

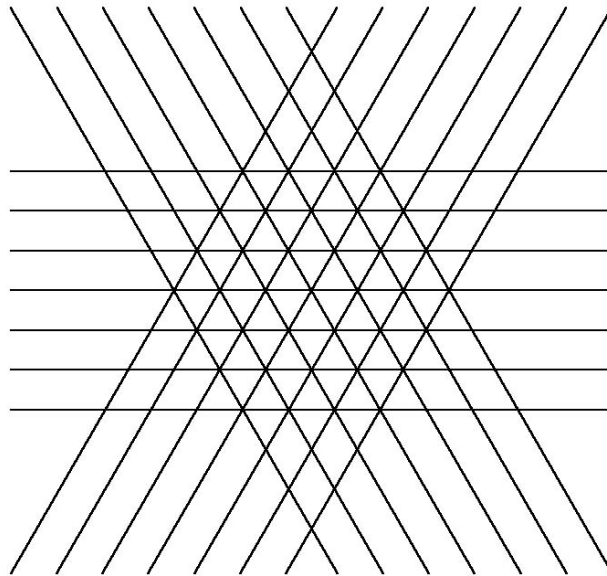


Рисунок 1.3 – Схема орієнтації арматури в шаруватих КМ із зірковим укладанням волокон в суміжних шарах

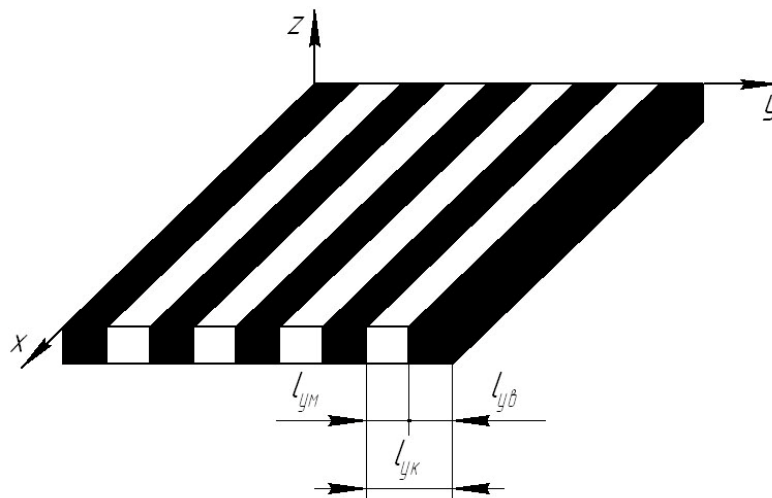


Рисунок 1.4 – Схематичне зображення структури однонаправленого КМ (чорні області – волокна, білі – матриця)

Однонаправлені матеріали називають також матеріалами з орієнтацією волокон 1:0 (дріб показує відношення числа шарів волокон в поздовжньому і поперечному напрямках), двовимірноюармовані шаруваті КМ з взаємно перпендикулярним укладанням волокон позначають дробами 1:1, 1:2, 1:3, 3:4 і т. д. Шаруваті КМ із зірковим укладанням, волокна яких в суміжних шарах утворюють між собою кут 60° , називають матеріалами з укладанням 1:1:1. Тривимірноюармовані орієнтовані КМ одержують армуванням матриць волокнами в трьох взаємно перпендикулярних напрямках або об'ємними тканинами.

За способом отримання (технологічний принцип) полімерні КМ можна розділити на *ливарні, пресовані і намотувальні*. ПКМ з хаотичною структурою звичайно одержують литвом і пресуванням, а з орієнтованою – намотуванням і пресуванням. Металеві КМ за цим способом ділять на *ливарні і деформовні*.

Ливарні одержують, просочуючи арматуру розплавленим матричним сплавом або застосовуючи направлену кристалізацію сплавів евтектичного складу з виділенням зміцнювальної армувальної фази безпосередньо з розплаву (так званий метод *in situ* – в собі, на місці перебування). Для отримання деформовних МКМ застосовують спікання, гаряче пресування, дифузійне зварювання, гаряче штампування і кування на молотах, вибухове пресування, електролітичне, хімічне і парогазове осадження, плазмове і газополум'яне напилення та ін. Більшість з цих твердофазних методів, не враховуючи динамічні, застосовують і для отримання керамічних КМ.

За призначенням (експлуатаційний принцип) КМ можна розбити на матеріали *загальноконструкційного призначення* (для різного роду несучих конструкцій літаків, ракет, суден, автомобілів, двигунів, посудин високого тиску, предметів широкого споживання і т. д.), *жароміцні* (для лопаток турбін, камер згоряння та інших виробів, що працюють при підвищених температурах), *термостійкі* (для виробів, які експлуатуються в умовах різких тепломін, наприклад, для облицьовування каналів МГД-генераторів), *фрикційні і антифрикційні* (підшипники ковзання, шестерні та ін.), *ударотривкі* (броня літаків, танків і т. п.), *теплозахисні*, а також *КМ зі спеціальними властивостями* (електричними, магнітними, ядерними, оптичними та ін.).

1.2 Вимоги, що висуваються до волокон і матриці

Вимоги до волокон. Ниткоподібна форма армувальних елементів має як позитивні, так і негативні сторони. Перевага їх полягає у високій міцності та можливості створити зміцнення тільки в тому напрямі, в якому це потрібно конструктивно, що забезпечує максимальне використання властивостей волокон. Недолік такої форми полягає в тому, що волокна здатні передавати навантаження тільки у напрямі своєї осі, тоді як в перпендикулярному напрямі зміцнення немає, а в деяких випадках може виявитися навіть знеміцнення.

Волокна, які використовують як арматуру, повинні мати такі властивості: високу температуру плавлення, малу густину, високу міцність у всьому інтервалі робочих температур, технологічність, мінімальну розчинність у матриці, високу хімічну стійкість, відсутність фазових перетворень в зоні робочих температур, відсутність токсичності при виготовленні і в експлуатації.

Для армування, в основному, застосовують три види волокон:

ЛІТЕРАТУРА

1. Карпинос Д. М. Новые композиционные материалы / Карпинос Д. М., Тучинский Л. И., Вишняков Л. Р. – К. : Вища школа, 1977. – 312 с.
2. Основы механики и технологии композиционных материалов : учебн. пос. / [Фрегер Г. Е., Аптекарь М. Д., Игнатъев Б. Б. и др.]. – К. : Аристей, 2004. – 524 с.
3. Шевченко В. Г. Основы физики полимерных композиционных материалов / Шевченко В. Г. – М. : МГУ им. М. В. Ломоносова, 2010. – 98 с.
4. Anke Krueger, Ed. *Carbon Materials and Nanotechnology*. 2010 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
5. Gate-controlled guiding of electrons in graphene / J. R. Williams, Tony Low, M. S. Lundstrom & C. M. Marcus / *Nature Nanotechnology* 6, 222–225 (2011) doi:10.1038/nnano.2011.3
6. S. Mouras et al. Synthesis of first stage graphite intercalation compounds with fluorides // *Revue de chimie minerale* (1987). ISSN 0035-1032. – V. 24. – № 5. – P. 572–582.
7. A. K. Geim i K. S. Novoselov / The rise of graphene в *Nature Materials*
8. K. S. Novoselov, A. K. Geim et al. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films в *Science*
9. Anke Krueger, Ed. *Carbon Materials and Nanotechnology*. 2010 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
10. Саранчук В. И. Углерод: неизвестное об известном / Саранчу В. И. и др. – Донецк : УК Центр, 2006.
11. Ефремкин А. Ф. Структурные особенности диенстирольных термоэластопластов, модифицированных мономерами / А. Ф. Ефремкин, В. Б. Иванов, А. П. Романюк, В. В. Шибанов // *Ж. ВМС. А.* – 1990. – Т. 32. – № 9. – С. 1995–2001.
12. Иванов В. Б. Кинетика полимеризации в диенстирольных блок-сополимерах / В. Б. Иванов, А. П. Романюк, В. В. Шибанов // *Ж. ВМС.* – 1993. – Т. 35. – №2. – С. 119–124.
13. Ван-Чин-Сян Ю. Я. Дослідження пошарової полімеризації трикомпонентних систем на основі термоеластопласту / Ю. Я. Ван-Чин-Сян, О. П. Романюк // *Вісник НУ «Львівська політехніка»* – № 426. – Львів. – 2001. – С. 24–28.
14. Мала гірнича енциклопедія. В 3-х т. ; За ред. В. С. Білецького. – Донецьк : «Донбас», 2004. — ISBN 966-7804-14-3.
15. Skin-like pressure and strain sensors based on transparent elastic films of carbon nanotubes / Darren J. Lipomi, Michael Vosgueritchian, Benjamin C-K. Tee, Sondra L. Hellstrom, Jennifer A. Lee, Courtney H. Fox & Zhenan Bao / *Nature Nanotechnology* 6, 788–792 (2011)

doi:10.1038/nano.2011.184

16. Highly conductive, printable and stretchable composite films of carbon nanotubes and silver / Kyoung-Yong Chun, Youngseok Oh, Jonghyun Rho, Jong-Hyun Ahn, Young-Jin Kim, Hyouk Ryeol Choi & Seunghyun Baik / *Nature Nanotechnology* 5, 853–857 (2010) doi:10.1038/nano.2010.232 / Received 09 July 2010 Accepted 25 October 2010 Published online 28 November 2010
17. Flexible solid state lithium batteries based on graphene inks / Di Wei, Piers Andrew, Huafeng Yang, Yuanyuan Jiang, Fenghua Li, Changsheng Shan, Weidong Ruan, Dongxue Han, Li Niu, Chris Bower, Tapani Ryhanen, Markku Rouvala, Gehan A. J. Amaratunga and Ari Ivaska / *J. Mater. Chem.*, 2011, 21, 9762-9767 / DOI: 10.1039/C1JM10826C
18. Ultralight Metallic Microlattices / T. A. Schaedler^{1,*}, A. J. Jacobsen¹, A. Torrents², A. E. Sorensen¹, J. Lian³, J. R. Greer³, L. Valdevit², W. B. Carter¹ / *Science* 18 November 2011: Vol. 334 no. 6058 pp. 962-965 / DOI: 10.1126/science.1211649
19. Бейгельзимер Я. Е. Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций / [Я. Е. Бейгельзимер, В. Н. Варюхин, Д. В. Орлов, С. Г. Сынков]. – Донецк : Фирма ТЕАН, 2003. – 87 с.

Навчальне видання

**Буренніков Юрій Анатолійович
Сивак Іван Онуфрійович
Сухоруков Сергій Іванович**

**НОВІ МАТЕРІАЛИ
ТА КОМПОЗИТИ**

Навчальний посібник

Редактор В. Дружиніна

Оригінал-макет підготовлено С. Сухоруковим

Підписано до друку
Формат 29,7×42 $\frac{1}{4}$. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк.
Тираж прим. Зам. №

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.